

PCTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)(51) Internationale Patentklassifikation ⁷ :

H01L 29/737, 21/331

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/36653

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

22. Juni 2000 (22.06.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/03961

(22) Internationales Anmeldedatum: 8. Dezember 1999 (08.12.99)

(30) Prioritätsdaten:

198 57 640.4

14. Dezember 1998 (14.12.98) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): INSTI-
TUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER)
GMBH [DE/DE]; Walter-Korsing-Strasse 2, D-15230
Frankfurt (oder) (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HEINEMANN, Bernd
[DE/DE]; Schalmeienweg 29, D-15234 Frankfurt (oder)
(DE). EHWALD, Karl-Ernst [DE/DE]; Pflaumenweg 17,
D-15234 Frankfurt (oder) (DE). KNOLL, Dieter [DE/DE];
Uferstrasse 7, D-15230 Frankfurt (oder) (DE).(74) Anwalt: HEITSCH, Wolfgang; Göhlsdorfer Strasse 25g,
D-14778 Jeserig (DE).(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,
CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

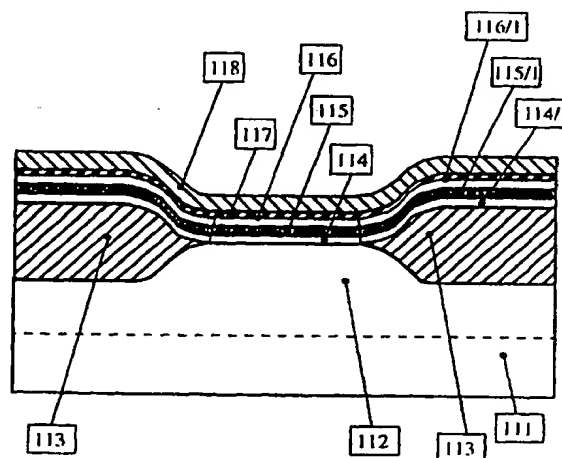
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.

(54) Title: BIPOLAR TRANSISTOR AND METHOD FOR PRODUCING SAME

(54) Bezeichnung: BIPOLARTRANSISTOR UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

(57) Abstract

The aim of the invention is to provide for a bipolar transistor and a method for producing the same. Said bipolar transistor should have minimal base-emitter capacities and very good high frequency characteristics. The static characteristics, especially the base current ideality and the low frequency noise, of a bipolar transistor with weakly doped cap layer (116) should not significantly deteriorate and process complexity should not increase. According to the invention, the problem is solved by inserting a special doping profile in a cap layer (116) (cap doping) which has been produced epitaxially. A minimal base emitter capacity and very good high frequency characteristics can be obtained by means of said doping profile. At the same time, the efficiency of the generation/recombination active boundary surface between the cap layer (116) and the isolator (117) in the polysilicon overlapping area in the relevant working area of the transistor is reduced and the base current ideality is improved. The section at the base side in the cap layer (116) has a preferred thickness of between 20 nm and 70 nm and is only doped weakly, preferably less than $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Said section is crucial for the good high frequency characteristics.



(57) Zusammenfassung

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Bipolartransistor und ein Verfahren zu seiner Herstellung anzugeben, bei dem minimale Basis-Emitter-Kapazitäten und beste Hochfrequenzeigenschaften realisiert werden, ohne daß die statischen Eigenschaften eines Bipolartransistors mit schwach dotierter Cap-Schicht (116), vor allem die Basisstromidealität und das Niederfrequenz-Rauschen, spürbar verschlechtert werden und die Prozeßkomplexität zunimmt. Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Einbringung eines speziellen Dotierungsprofils in eine epitaktisch erzeugte Cap-Schicht (116) (Cap-Dotierung) gelöst. Mit Hilfe dieses Dotierungsprofils wird erreicht, daß eine minimale Basis-Emitter-Kapazität und beste Hochfrequenzeigenschaften erreicht werden können, aber auch die generations-/rekombinationsaktive Grenzfläche zwischen Cap-Schicht (116) und Isolator (117) im Polysilizium-Überlappungsgebiet im interessanten Arbeitsbereich des Transistors in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt und die Basisstromidealität verbessert wird. Entscheidend für die guten Hochfrequenzeigenschaften ist der nur schwach, vorzugsweise kleiner als $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ dotierte basisseitige Abschnitt in der Cap-Schicht (116) mit einer bevorzugten Dicke zwischen 20 nm und 70 nm.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

5 **Bipolartransistor und Verfahren zu seiner Herstellung**

Die Erfindung betrifft einen Bipolartransistor und ein Verfahren zu seiner Herstellung.

Die Realisierung von epitaktisch hergestellten Silizium-Germanium-Heterobipolartransistoren
10 (SiGe-HBT) sowie die kostensparende Vereinfachung der technologischen Prozesse gaben in
jüngerer Zeit neue Impulse für die Weiterentwicklung von Si-Bipolartransistoren. Einen
attraktiven Weg eröffnet in dieser Hinsicht die Verbindung einer epitaktisch erzeugten Basis
mit den prozeßvereinfachenden Möglichkeiten einer Einzel-Polysilizium-Technologie.

Im Vergleich zu konventionell per Implantation oder Eindiffusion eingebrachten
15 Basisprofilen können mit Hilfe epitaktisch hergestellter Silizium-Germanium-Basisschichten
gleichzeitig kleinere Basisweiten und -schichtwiderstände erzeugt werden, ohne daß
unbrauchbar kleine Stromverstärkungen oder hohe Leckströme in Kauf genommen werden
müssen. Dabei sind elektrisch aktive Dotierstoffkonzentrationen in der Basis bis über
 $1 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ realisiert worden, wie beispielsweise in A. Schüppen, A. Gruhle, U. Erben, H.
20 Kibbel und U. König: 90 GHz f_{max} SiGe-HBTs, DRC 94, S. IIA-2, 1994 beschrieben. Um
Leckströme durch Tunnelprozesse zu vermeiden, ist jedoch eine niedrig dotierte Zone
zwischen den Hochkonzentrationsgebieten von Emitter und Basis nötig. Übersteigt nämlich
die Basisdotierung Werte von $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, und würde, wie bei implantierten Basisprofilen
üblich, die Hochkonzentration des Emitters bis in die Basis hineinreichen, sind unakzeptabel
25 hohe Tunnelströme die Folge. Im Unterschied zu implantierten Basisprofilen ist es bei
Anwendung der Epitaxie problemlos möglich, gleichzeitig schmale Basisprofile sowie eine
niedrig dotierte Zone (Cap-Schicht) zu erzeugen.

5 Fig. 1 zeigt schematisch den Emitterbereich eines SiGe-HBTs. Der Transistoraufbau gibt typische Merkmale eines Einzel-Polysiliziumprozesses wieder. Über einkristallinem Kollektorgebiet 11 wurde epitaktisch eine SiGe-Basis 12 und anschließend die Cap-Schicht 13 abgeschieden. Eine seitliche Isolation des Transistorgebietes ist in Fig. 1 nicht mit eingezeichnet. Wenn während des Epitaxieschrittes sowohl auf einkristallinem Substrat 11 als
10 auch auf dem nicht dargestellten Isolatorgebiet Halbleitermaterial wächst (differentielle Epitaxie), ist es möglich, die gewachsenen Halbleiterschichten als Verbindung zwischen einem Kontakt auf Isolationsgebiet und dem inneren Transistor zu nutzen. Diese Verbindung sollte möglichst niederohmig ausgelegt sein. Daher wäre es günstig, wenn die Epitaxieschichtdicke unabhängig von der Basisweite eingestellt werden könnte. Über der
15 Isolationsschicht 14, in die naßchemisch Emitterfenster geätzt wurden, ist eine Poly- oder α -Siliziumschicht 15 abgeschieden worden. Die α -Siliziumschicht 15 erhält während der Abscheidung oder nachträglich per Implantation eine Dotierung vom Leitfähigkeitstyp des Emitters und dient als Diffusionsquelle für die Emitterdotierung 16 im einkristallinen Substrat. Die Isolatorschicht 14 wird eingesetzt, um keine Schädigung der Cap-Schicht 13 bei
20 der später erfolgten Strukturierung der polykristallinen α -Siliziumschicht 15 hinnehmen zu müssen. Im Überlappungsbereich 17 des Polysiliziums, dem Gebiet zwischen dem Rand des Emitterfensters und der äußeren Begrenzung der strukturierten Poly- oder α -Siliziumschicht 15, entsteht eine Schichtfolge, bestehend aus Halbleiter-, Isolator- und Halbleitermaterial. In Abhängigkeit von der Dotierung der Cap-Schicht 13, von
25 Grenzflächenladungen und Rekombinationseigenschaften der Oberfläche sowie den Betriebsbedingungen des Transistors kann dieser Aufbau analog zu einer MOS-Kapazität eine Anreicherung aber auch Verarmung an beweglichen Ladungsträgern an der Oberfläche der Cap-Schicht 13 bewirken.

5 Bei flußgepolter Basis-Emitter-Diode können dadurch sowohl die Idealität des Basisstroms als auch die Niederfrequenz-Rauscheigenschaften beeinträchtigt werden. In Sperrichtung werden Generationsströme und Durchbruchsspannungen unter Umständen negativ beeinflusst. Unter der Bedingung, daß wegen der Tunnelgefahr die Dotandenkonzentrationen in der Cap-Schicht das Niveau von $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ nicht übersteigen sollten, erhebt sich die Frage, in welcher

10 Weise diese Zone geeignet zu dotieren ist. Im folgenden werden die bisher bekannten Varianten für npn-SiGe-HBTs diskutiert: Homogene n- oder p-Dotierungen nahe der Tunnelgrenze bzw. quasi undotierte Gebiete (i-Zone). In A. Chantre, M. Marty, J. L. Regolini, M. Mouis, J. de Pontcharra, D. Dutartre, C. Morin, D. Gloria, S. Jouan, R. Pantel, M. Laurens, and A. Monroy: A high performance low complexity SiGe HBT for BiCMOS integration,

15 BCTM '98, S. 93 - 96, 1998 wird eine p-Dotierung von ca. $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ verwendet. Hieraus resultiert der entscheidende Nachteil, daß die Cap-Schichtdicke in einem Toleranzbereich von wenigen Nanometern an die Eindringtiefe des aus der Poly-Silizium-Emitter-Schicht ausdiffundierenden Dotierstoffes angepaßt sein muß. Größere Cap-Schichtdicken, die für eine niederohmige Verbindung der inneren Basis zu einem Anschluß auf Isolationsgebiet

20 vorteilhaft wären, verbieten sich, da sonst die Wirkung des Germanium-Profiles stark eingeschränkt wird. In A. Gruhle, C. Mähner: Low 1/f noise SiGe HBTs with application to low phase noise microwave oscillators, Electronics Letters, Vol. 33, No. 24, S. 2050 - 2052, 1997 wird eine 100 nm dicke Cap-Schicht mit einer n-Konzentration von $1 \cdot 2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ verwendet. Obgleich bei dieser Variante das Problem der Dickentoleranz der Cap-Schicht

25 behoben und die Gefahr von Tunnelströmen durch die Verringerung der Dotierstoffkonzentration in der Cap-Schicht beseitigt ist, sind auch hier die Möglichkeiten zur Reduktion der Basis-Emitter-Kapazität nicht optimal ausgeschöpft.

- 5 Dieser Nachteil läßt sich umgehen, wenn auf eine Cap-Dotierung weitgehend verzichtet wird, wie beispielsweise in B. Heinemann, F. Herzel und U. Zillmann: Influence of low doped emitter and collector regions on high-frequency performance of SiGe-base HBTs, Solid-St. Electron., Bd. 38(6), S. 1183 - 1189, 1995 beschrieben. Allerdings kann es dann leicht zu der oben beschriebenen Verarmung des Überlappungsgebietes 17 kommen. Diese Zusammen-
- 10 hänge werden im folgenden mit Hilfe zweidimensionaler Bauelementesimulation erläutert. Fig. 2 zeigt den in der Simulation verwendeten, vereinfachten Transistoraufbau. Die elektrische Wirkung der Oxid-Halbleitergrenzfläche im Überlappungsgebiet wird mit einer positiven Flächenladungsdichte von $1 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ sowie einer Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit von 1000 cm/s modelliert. In Fig. 3 sind Vertikalprofile entlang einer
- 15 Schnittlinie senkrecht zum Überlappungsbereich dargestellt. Die Profile zeigen drei Dotierungsvarianten in der Cap-Schicht 13 und die in allen Fällen identisch vorgegebene, p-dotierte SiGe-Basis 12. Es werden folgende Cap-Dotierungen verglichen: quasi undotierte Cap-Schicht 13 (Profil i) und zwei homogene n-Dotierungen (Profil n1 mit $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und Profil n2 mit $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$). Fig. 4 zeigt die Transitfrequenz als Funktion des Kollektorstromes
- 20 für die verschiedenen Cap-Dotierungen. Insbesondere bei kleinen Kollektorströmen ist eine Zunahme der Transitfrequenz mit sinkendem Dotierungsniveau in der Cap-Schicht 13 zu erkennen. Während das Profil i vergleichsweise die besten Transitfrequenzen liefert, stellt sich als Nachteil jedoch heraus, daß sich die Idealität des Basisstromes (Fig. 5) im Gummel-Plot gegenüber den Vergleichsprofilen spürbar verschlechtert hat.
- 25 Aufgabe der Erfindung ist es, einen Bipolartransistor und ein Verfahren zu seiner Herstellung anzugeben, bei dem die beschriebenen Nachteile konventioneller Anordnungen überwunden werden, um insbesondere minimale Basis-Emitter-Kapazitäten und beste Hochfrequenzeigenschaften zu realisieren, ohne daß die statischen Eigenschaften eines Bipolartransistors mit schwach dotierter Cap-Schicht, vor allem die Basisstromidealität und das Niederfrequenz-
- 30 Rauschen, spürbar verschlechtert werden und die Prozeßkomplexität zunimmt.

- 5 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Einbringung eines speziellen Dotierungsprofils in eine epitaktisch erzeugte Cap-Schicht (Cap-Dotierung) gelöst. Mit Hilfe dieses Dotierungsprofils wird erreicht, daß eine minimale Basis-Emitter-Kapazität und beste Hochfrequenzeigenschaften erreicht werden können, aber auch die generations-/rekombinationsaktive Grenzfläche zwischen Cap-Schicht und Isolator im Polysilizium-
10 Überlappungsgebiet im interessanten Arbeitsbereich des Transistors in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt und die Basisstromidealität verbessert wird.

Entscheidend für die guten Hochfrequenzeigenschaften ist der nur schwach, vorzugsweise kleiner als $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ dotierte basisseitige Abschnitt in der Cap-Schicht mit einer bevorzugten Dicke zwischen 20 nm und 70 nm.

- 15 Emmitterseitig ist die Cap-Schicht höher dotiert. Wenn der Dotierstoff den Leitfähigkeitstyp der Basisschicht besitzt, werden zur Vermeidung von Tunnelströmen Dotierstoffkonzentrationen in der Cap-Schicht von vorzugsweise kleiner als $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ eingesetzt.

Vorzugsweise wird das Cap-Dotierungsprofil mittels Implantation oder in situ während des Epitaxieschrittes eingebracht.

- 20 Die Merkmale der Erfindung gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen schutzfähige Ausführungen darstellen, für die hier Schutz beansprucht wird. Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher erläutert.

5 Die Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 Schematische Darstellung des Emittergebietes eines Bipolartransistors, hergestellt in einer Einzel-Polysilizium-Technologie mit epitaktisch abgeschiedener Basis,

Fig. 2 Schematische Darstellung des Simulationsgebietes für den Bipolartransistor nach
10 Fig. 1 (nicht maßstabsgerecht),

Fig. 3 Vertikale Dotierungsprofile unter dem Überlappungsbereich für verschiedene Cap-Dotierungen,

Fig. 4 Transit-Frequenz als Funktion der Kollektorstromdichte für unterschiedliche Dotierungsprofile,

15 Fig. 5 Gummel-Plots für verschiedene Dotierungsprofile,

Fig. 6 Vertikale Dotierungsprofile unter dem Überlappungsbereich für verschiedene Cap-Dotierungen,

Fig. 7 Gummel-Plots für verschiedene Dotierungsprofile,

Fig. 8 Transit-Frequenz als Funktion der Kollektorstromdichte für unterschiedliche
20 Dotierungsprofile und

Fig. 9 Schematische Darstellung eines Bipolartransistors während der Herstellung.

Die Merkmale und Wirkungsweise der erfindungsgemäßen Cap-Dotierungsprofile werden mit Hilfe zweidimensionaler Bauelementesimulation an einem npn SiGe-HBT beschrieben. Die

25 Darlegungen lassen sich in entsprechender Weise auf einen pnp-Transistor übertragen.

5 Fig. 6 zeigt charakteristische Beispiele für die hier vorgeschlagenen Vertikalprofile in der Cap-Schicht 13 entlang einer Schnittlinie senkrecht zum Überlappungsbereich. Das Cap-„Profil p1“ ist zur Cap-Schicht-Oberfläche hin ansteigend und erreicht dort mit ca. $9 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ seine maximale Konzentration, während die 10 nm breiten, kastenähnlichen Profile „p2 und n3“ mit $2 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ dotiert sind. Die Profile p1 und p2 sind vom p-Leitfähigkeitstyp, n3 vom
10 n-Typ. In Fig. 7 sind Gummel-Plots zu den Profilen p1, p2 und n3 dargestellt, wobei zum Vergleich die Kennlinien vom Profil i aus Fig. 5 übernommen wurden. Fig. 7 zeigt deutlich die Verbesserung der Idealität der Basisstromkennlinien bei Verwendung der Cap-Dotierung gegenüber dem Verhalten von Profil i. Die dynamischen Berechnungen zu diesen Profilen führen zu dem in Fig. 8 wiedergegebenen Ergebnis: Im Unterschied zu den homogenen
15 Dotierungen n1 und n2 mit Konzentrationen von $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ und $2 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ist für die Cap-Profile p1, p2 und n3 keine Verschlechterung der Transitfrequenzen im Vergleich zu Profil i zu erkennen. Entscheidend für die guten Hochfrequenzeigenschaften ist der nur schwach, vorzugsweise kleiner als $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ dotierte Abschnitt in der Cap-Schicht mit einer bevorzugten Dicke von mindestens 20 nm. Die Resultate weisen darauf hin, daß im hier
20 betrachteten Beispiel sowohl mit n- als auch mit p-Profil in der Cap-Schicht annähernd gleichwertige Ergebnisse erreichbar sind.

Welcher Dotierungstyp in der Praxis zu bevorzugen ist, hängt z. B. davon ab, welchen Typ und welche Dichte die Ladungen an der Si/Isolator-Grenzfläche oder im Isolator besitzen oder welche Herstellungsverfahren für die Cap-Dotierung in Frage kommen. So lassen sich die
25 vorgeschlagenen Profile z. B. per Implantation einbringen. Diese Variante ist jedoch nur dann zu bevorzugen, wenn die Auswirkungen von Punktdefekten auf das Basisprofil kontrollierbar sind. Würde es infolge der Ausheilung von Punktdefekten zu einer verstärkten Diffusion der Basisdotierung aus der SiGe-Schicht kommen und hierdurch die elektrischen Eigenschaften unakzeptabel verschlechtert werden, sind andere Dotierungsvarianten nötig. Zum Beispiel

5 bietet sich eine in situ Dotierung während der Epitaxie an. Bei diesem Vorgehen wird der Typ der Cap-Dotierung mitbestimmt von der Sicherheit und Einfachheit des Abscheideprozesses.

Im folgenden wird die Herstellung eines Bipolartransistors gemäß der Erfindung am Beispiel eines npn SiGe-HBTs dargelegt. Die dabei vorgestellte Verfahrensweise kann ebenso gut auf pnp-Transistoren übertragen werden. Außerdem ist es erfindungsgemäß auch möglich, auf

10 eine Epitaxie der Basisschicht zu verzichten und das Basisprofil vor der epitaktischen Herstellung einer Cap-Schicht per Implantation einzubringen.

Wie in Fig. 9 dargestellt, wurden auf einer einkristallinen Substratschicht 111 vom Leitfähigkeitstyp I strukturierte Gebiete, bestehend aus einem Kollektorbereich 112 vom Leitfähigkeitstyp II, sowie diesen umgebende Isolationsgebiete 113 erzeugt. Sind Emitter und

15 Kollektor z.B. n-leitend, ist die Basis vom p-Typ bzw. umgekehrt. Es sind verschiedene geeignete Isolationstechniken bekannt, wie z.B. LOCOS-Prozesse, verspacerte Mesa-Anordnungen bzw. tiefe oder flache Trenchisolationen.

Auf der Basis differentieller Epitaxie wird ganzflächig die Pufferschicht 114, die SiGe-Schicht mit in-situ Dotierung der Basisschicht 115 vom Leitfähigkeitstyp I sowie die Cap-

20 Schicht 116 erzeugt.

Während die Pufferschicht 114, die Basisschicht 115 und Cap-Schicht 116 einkristallin über dem Silizium-Substrat wachsen, entstehen polykristalline Schichten 114/1;115/1;116/1 über dem Isolationsgebiet 113. Nach photolithografischer Maskierung werden

25 Trockenätztechniken eingesetzt, um die Epitaxieschicht in denjenigen Gebieten zu entfernen, in denen keine Transistoren entstehen.

Verwendet man anstelle differentieller eine selektive Epitaxie, bei der ein Wachstum ausschließlich über Siliziumuntergrund erfolgt, entfällt im Unterschied zum Prozeßablauf mit differentieller Epitaxie die Strukturierung des Epitaxiestapels.

- 5 Im folgenden Schritt werden die Siliziumgebiete mit einer Isolationsschicht 117 abgedeckt. Es ist möglich, dies durch thermische Oxidation und/oder Abscheidung zu erreichen. Es können Schichtstapel von Dielektrika, z. B. Siliziumoxid und -nitrid, eingesetzt werden. Außerdem kann die elektrisch isolierende Schicht mit einer Polysiliziumschicht bedeckt sein, um zusätzliche Freiheitsgrade für den späteren Prozeßablauf offenzuhalten.
- 10 Als wesentlich im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens ist die Realisierung des Cap-Dotierungsprofils in einer epitaktisch hergestellten Cap-Schicht anzusehen. Es besteht die Möglichkeit, ähnliche Profile wie die in Fig. 6 gezeigten, in situ während der Epitaxie einzubringen. Des weiteren kann durch Implantation vor oder nach Herstellung der Isolationsschicht 117 ein flaches Profil erzeugt werden. Außerdem sind verschiedene
- 15 Verfahren zur Eindiffusion derartiger Profile bekannt. Dafür kann auch eine mit Dotierstoff hochangereicherte Isolatorschicht dienen. Ein Ausdiffusionsschritt kann vor oder nach weiteren Prozeßschritten erfolgen. Insbesondere bei Anwendung solcher Prozeßschritte wie Implantation, Eindiffusion oder thermischer Oxidation, die eine beschleunigte Diffusion der Dotanden hervorrufen können, ist der Einsatz eines diffusionshemmenden Zusatzstoffes in
- 20 Kollektor, Basis oder Cap-Schicht 116, wie z. B. Kohlenstoff, sinnvoll.

Die Transistorherstellung kann nun fortgesetzt werden mit der Strukturierung einer Lackmaske zur Öffnung des Emitterfensters. Dort werden die Deckschichten mit Hilfe bekannter Ätzverfahren abgetragen. Um gute Transistoreigenschaften zu erzielen, sind

25 vorzugsweise Naßätztechniken beim Freilegen der Halbleiteroberfläche anzuwenden.

Der Prozeß wird fortgesetzt mit der Abscheidung einer amorphen Siliziumschicht für die Bildung des Polysiliziumemitters. Diese kann bereits in-situ während oder im Anschluß an die Abscheidung durch Implantation dotiert werden.

- 5 Der Prozeß wird mit konventionellen Schritten der Strukturierung, Implantation und Passivierung fortgesetzt. Zur Ausheilung der Implantationsschäden und zur Formierung des Poly-Emitters werden erforderliche Hoch-Temperaturschritte durchgeführt. Der Prozeß wird vervollständigt mit dem Öffnen der Kontaktlöcher für Emitter, Basis und Kollektor und einer Standardmetallisierung für die Transistorkontakte.
- 10 In der vorliegenden Erfindung wurden anhand konkreter Ausführungsbeispiele ein Bipolartransistor und ein Verfahren zu seiner Herstellung erläutert. Es sei aber vermerkt, daß die vorliegende Erfindung nicht auf die Einzelheiten der Beschreibung im Ausführungsbeispiel eingeschränkt ist, da im Rahmen der Patentansprüche Änderungen und Abwandlungen beansprucht werden.

5 Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Bipolartransistors, bei dem auf einer einkristallinen Substratschicht (111) strukturierte Gebiete, bestehend aus einem Kollektorbereich (112), sowie diesen umgebende Isolationsgebiete (113) erzeugt werden, über dem Kollektorbereich (112) eine Basisschicht (115) und mittels Epitaxie eine Cap-Schicht (116) hergestellt werden, über der Cap-Schicht (116) eine Isolationsschicht (117) abgeschieden und diese im Bereich des wirksamen Emittergebietes geöffnet wird, über der geöffneten Isolationsschicht (117) eine Poly- oder α -Si-Schicht abgeschieden, strukturiert und als Emitter-Dotierstoffquelle und Kontaktschicht genutzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Dotierungsprofil in die Cap-Schicht (116) eingebracht wird, welches basisseitig schwach und emitterseitig höher dotiert ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die basisseitig schwächere Dotierstoffkonzentration der Cap-Schicht (116) Werte von $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ nicht übersteigt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die basisseitig schwächere Dotierstoffkonzentration der Cap-Schicht (116) eine Schichtdicke von höchstens 70 nm besitzt.
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die basisseitig schwächere Dotierstoffkonzentration der Cap-Schicht (116) in einer Schichtdicke von mindestens 20 nm Werte von $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ nicht übersteigt.

- 5 5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die emitterseitig höhere Dotierstoffkonzentration der Cap-Schicht (116) Werte von $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ nicht übersteigt, wenn der Dotierstoff den Leitfähigkeitstyp der Basisschicht (115) besitzt.
- 10 6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Cap-Dotierungsprofil mittels Implantation eingebracht wird.
- 15 7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Cap-Dotierungsprofil in situ während des Epitaxieschrittes eingebracht wird.
- 20 8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Cap-Dotierungsprofil durch Ausdiffusion aus der mit Dotierstoff hochangereicherten Isolationsschicht (117) erzeugt wird.
- 25 9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Basis mittels Epitaxie realisiert wird.
- 30 10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Basisschicht (115) als SiGe-Schicht mittels Epitaxie realisiert wird.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Kollektorbereich (112), Basisschicht (115) und/oder Emittergebiet ein diffusionshemmendes Mittel eingebracht wird.

- 5 12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, daß als diffusionshemmendes Mittel Kohlenstoff eingebracht wird.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, daß in der Basisschicht (115) Borkonzentrationen von über $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
10 eingebracht sind.
14. Bipolartransistor, bei dem auf einer einkristallinen Substratschicht (111) strukturierte Gebiete, bestehend aus einem Kollektorbereich (112), sowie diesen umgebende Isolationsgebiete (113) erzeugt werden, über dem Kollektorbereich (112) eine
15 Basisschicht (115) und mittels Epitaxie eine Cap-Schicht (116) hergestellt werden, über der Cap-Schicht (116) eine Isolationsschicht (112) abgeschieden und diese im Bereich des wirksamen Emittergebietes geöffnet wird, über der geöffneten Isolationsschicht (117) eine Poly- oder α -Si-Schicht abgeschieden, strukturiert und als
20 Emitter-Dotierstoffquelle und Kontaktschicht genutzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Dotierungsprofil in der Cap-Schicht (116) eingebracht ist, welches basisseitig schwach und emitterseitig höher dotiert ist.
15. Bipolartransistor nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, daß die basisseitig schwächere Dotierstoffkonzentration der Cap-Schicht (116) Werte von $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ nicht
25 übersteigt.
16. Bipolartransistor nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, daß die basisseitig schwächere Dotierstoffkonzentration der Cap-Schicht (116) in einer Schichtdicke von mindestens 20 nm Werte von $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ nicht übersteigt.

- 5 17. Bipolartransistor nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch**
gekennzeichnet, daß die basisseitig schwächere Dotierstoffkonzentration der Cap-
Schicht (116) eine Schichtdicke von höchstens 70 nm besitzt.
- 10 18. Bipolartransistor nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch**
gekennzeichnet, daß die emitterseitig höhere Dotierstoffkonzentration der Cap-
Schicht (116) Werte von $5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ nicht übersteigt, wenn der Dotierstoff den
Leitfähigkeitstyp der Basisschicht (115) besitzt.

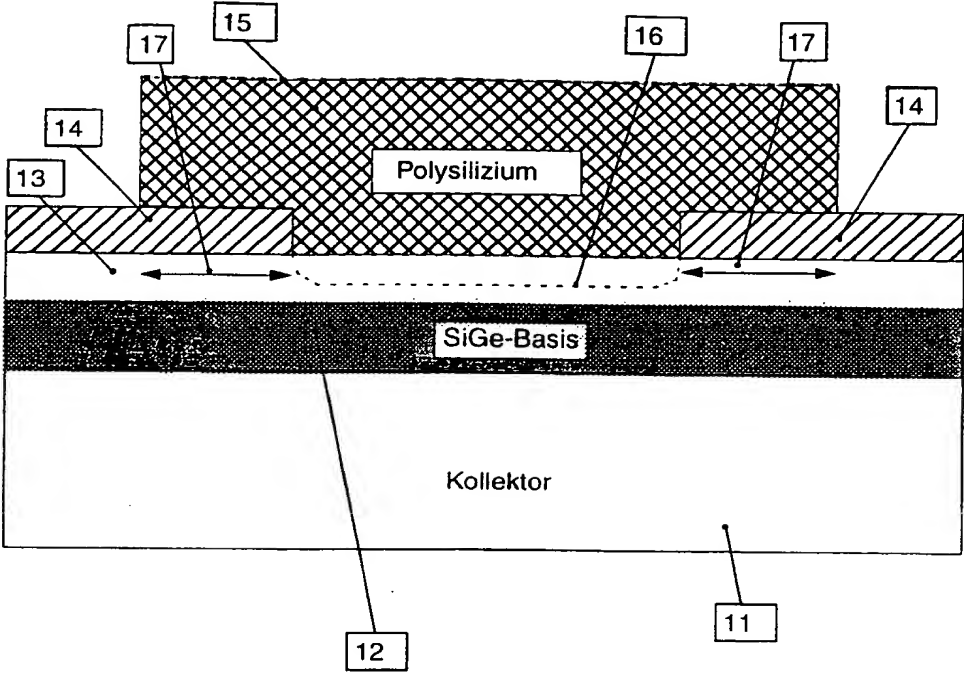


Fig. 1

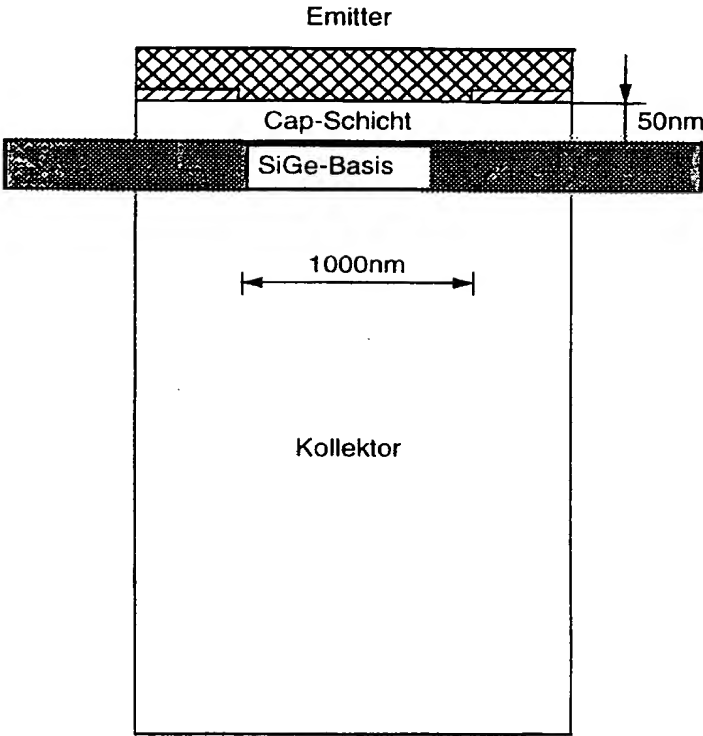


Fig. 2

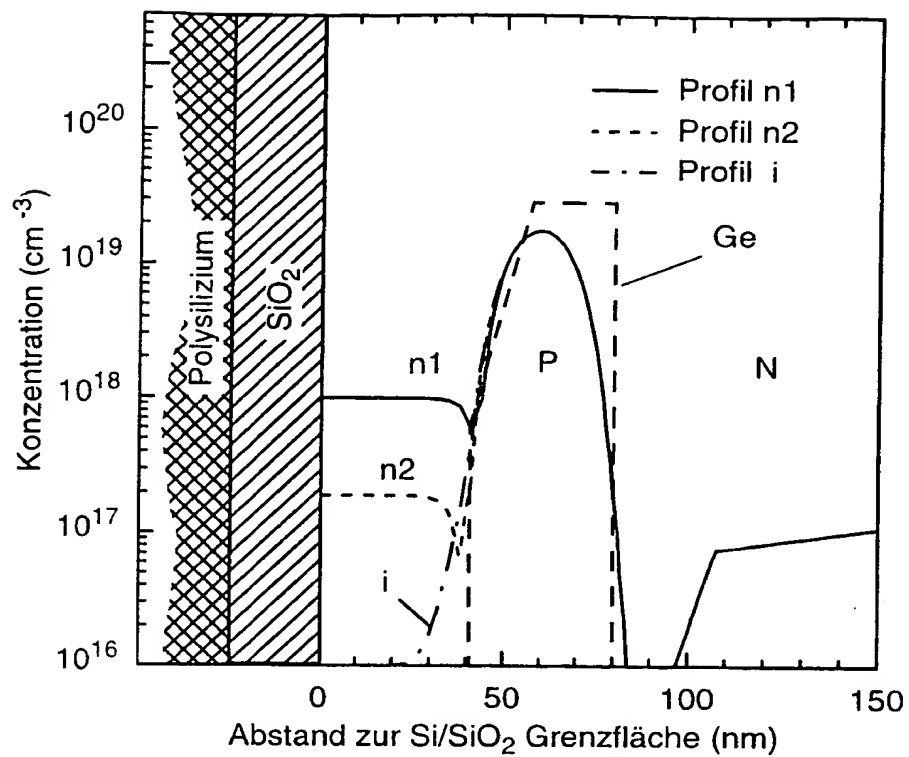


Fig. 3

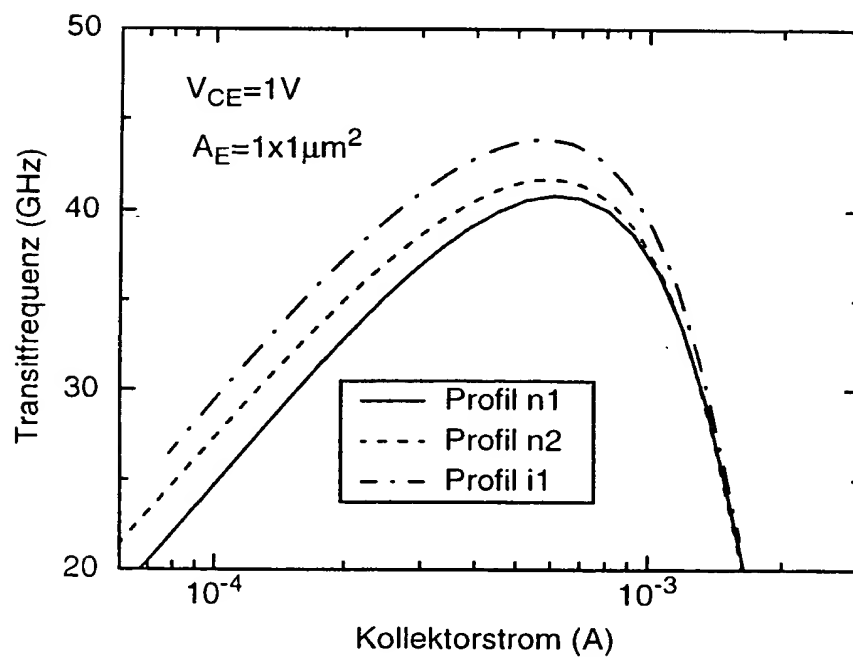


Fig. 4

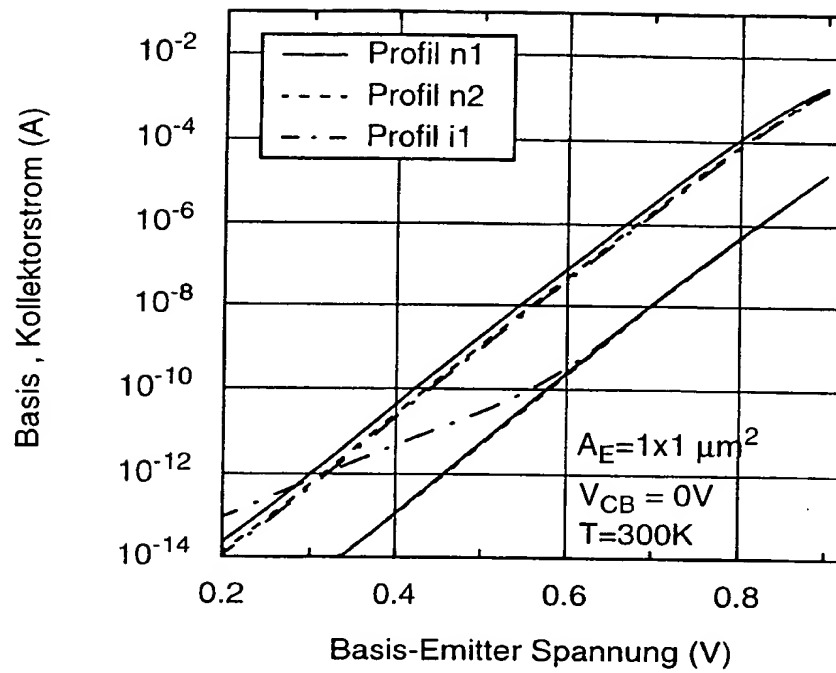


Fig. 5

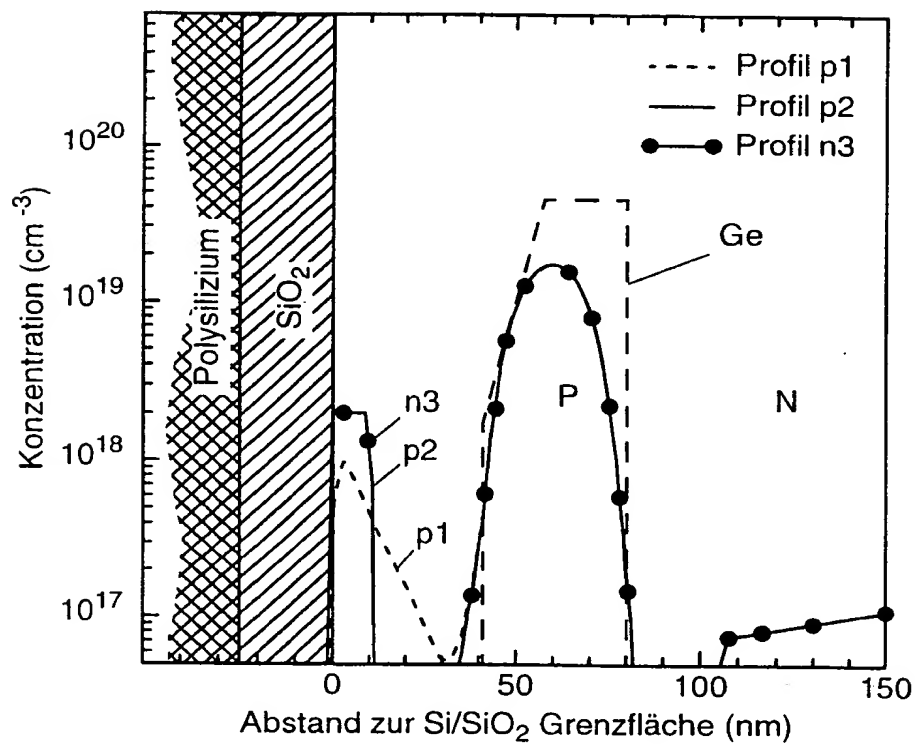


Fig. 6

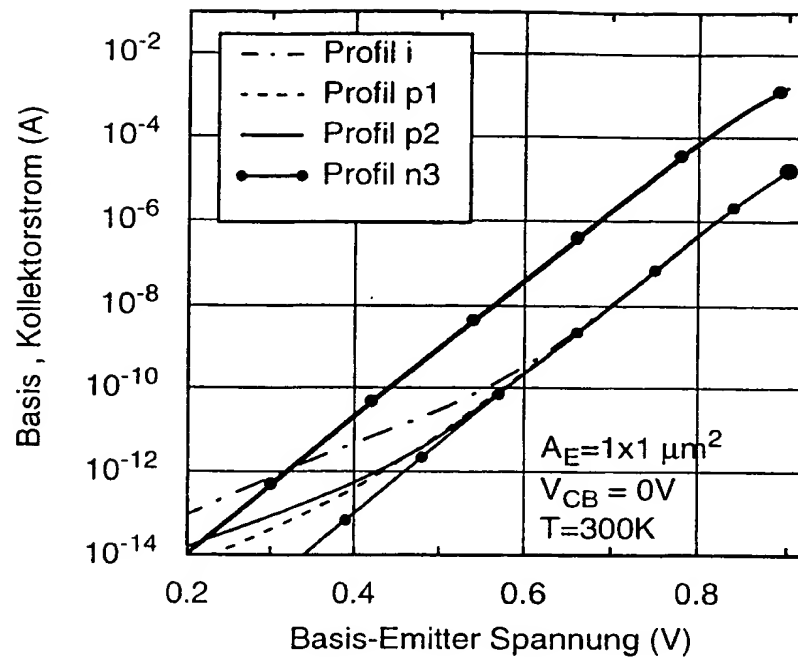


Fig. 7

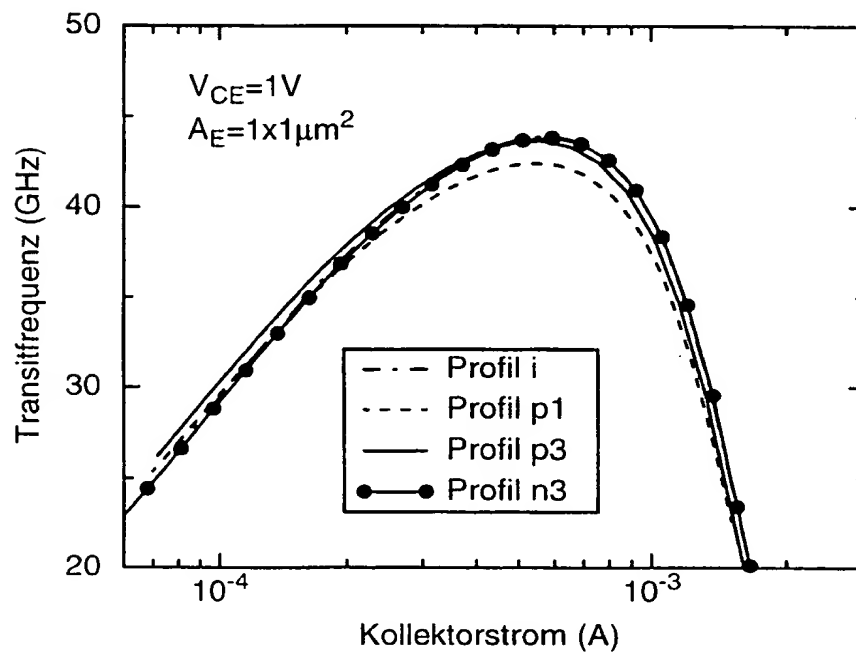


Fig. 8

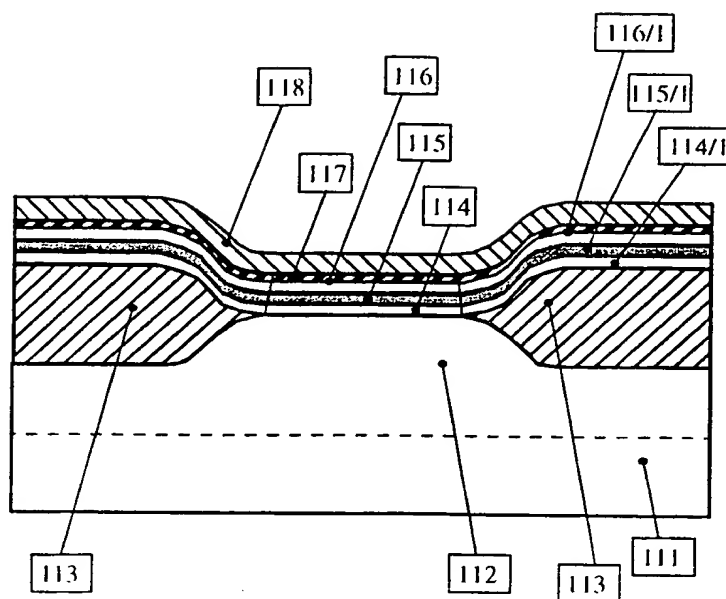


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/03961

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H01L29/737 H01L21/331

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 41 02 888 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 1 August 1991 (1991-08-01) figure 6	1,3,5,7, 9,10,13, 14
A	COMFORT J H ET AL: "SINGLE CRYSTAL EMITTER CAP FOR EPITAXIAL SI- AND SIGE-BASE TRANSISTORS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING, US, NEW YORK, IEEE, vol. -, 1991, pages 91-857-91-860, XP000347370 ISBN: 0-7803-0243-5 the whole document	1,14
A	EP 0 551 185 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 14 July 1993 (1993-07-14) the whole document -/-	1,14



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 April 2000

Date of mailing of the international search report

26/04/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Baillet, B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/03961

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 795 899 A (DAIMLER-BENZ AKTIENGESELLSCHAFT) 17 September 1997 (1997-09-17) the whole document	1,14
A	WO 98 26457 A (INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER) GMBH) 18 June 1998 (1998-06-18) the whole document	11,12
A	GRUHLE A ET AL: "LOW 1/NOISE SIGE HBTS WITH APPLICATION TO LOW PHASE NOISE MICROWAVE OSCILLATORS" ELECTRONICS LETTERS,GB,IEE STEVENAGE, vol. 33, no. 24, 1997, pages 2050-2052, XP000884013 ISSN: 0013-5194 cited in the application	
A	CHANTRE A ET AL: "A HIGH PERFORMANCE LOW COMPLEXITY SIGE HBT FOR BICMOS INTEGRATION" IEEE BIPOLAR/BICMOS CIRCUITS AND TECHNOLOGY MEETING,US,NEW YORK, NY: IEEE, 1998, pages 93-96, XP000877001 ISBN: 0-7803-4498-7 cited in the application	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inter. Patent Application No

PCT/DE 99/03961

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4102888	A	01-08-1991	JP 3225870 A	04-10-1991
			JP 4179235 A	25-06-1992
			US 5250448 A	05-10-1993
EP 551185	A	14-07-1993	JP 5182980 A	23-07-1993
EP 795899	A	17-09-1997	DE 19609933 A	18-09-1997
			CA 2191167 A	15-09-1997
			US 5821149 A	13-10-1998
WO 9826457	A	18-06-1998	DE 19652423 A	10-06-1998
			DE 19755979 A	10-06-1999
			EP 0954880 A	10-11-1999



INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter. nationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03961

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H01L29/737 H01L21/331

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 41 02 888 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 1. August 1991 (1991-08-01) Abbildung 6	1,3,5,7, 9,10,13, 14
A	COMFORT J H ET AL: "SINGLE CRYSTAL EMITTER CAP FOR EPITAXIAL SI- AND SIGE-BASE TRANSISTORS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL ELECTRON DEVICES MEETING, US, NEW YORK, IEEE, Bd. -, 1991, Seiten 91-857-91-860, XP000347370 ISBN: 0-7803-0243-5 das ganze Dokument	1,14
A	EP 0 551 185 A (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) 14. Juli 1993 (1993-07-14) das ganze Dokument	1,14
	-/-	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindnerischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindnerischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

13. April 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/04/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Baillet, B

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03961

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 795 899 A (DAIMLER-BENZ AKTIENGESELLSCHAFT) 17. September 1997 (1997-09-17) das ganze Dokument	1,14
A	WO 98 26457 A (INSTITUT FÜR HALBLEITERPHYSIK FRANKFURT (ODER) GMBH) 18. Juni 1998 (1998-06-18) das ganze Dokument	11,12
A	GRUHLE A ET AL: "LOW 1/NOISE SIGE HBTS WITH APPLICATION TO LOW PHASE NOISE MICROWAVE OSCILLATORS" ELECTRONICS LETTERS,GB,IEE STEVENAGE, Bd. 33, Nr. 24, 1997, Seiten 2050-2052, XP000884013 ISSN: 0013-5194 in der Anmeldung erwähnt	
A	CHANTRE A ET AL: "A HIGH PERFORMANCE LOW COMPLEXITY SIGE HBT FOR BICMOS INTEGRATION" IEEE BIPOLAR/BICMOS CIRCUITS AND TECHNOLOGY MEETING,US,NEW YORK, NY: IEEE, 1998, Seiten 93-96, XP000877001 ISBN: 0-7803-4498-7 in der Anmeldung erwähnt	

INTERNATIONALER RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03961

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(r) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4102888 A	01-08-1991	JP 3225870 A	04-10-1991
		JP 4179235 A	25-06-1992
		US 5250448 A	05-10-1993
EP 551185 A	14-07-1993	JP 5182980 A	23-07-1993
EP 795899 A	17-09-1997	DE 19609933 A	18-09-1997
		CA 2191167 A	15-09-1997
		US 5821149 A	13-10-1998
WO 9826457 A	18-06-1998	DE 19652423 A	10-06-1998
		DE 19755979 A	10-06-1999
		EP 0954880 A	10-11-1999



9
1
2



1
2

1

1
2
3

1